

四列圆柱滚子轴承外圈淬火开裂原因分析及改进措施

贾玉鑫^{1, 2}, 单琼飞^{1, 2}, 李检贵^{1, 2}, 康风波^{1, 2}

1. 洛阳轴承研究所有限公司 河南洛阳 471039

2. 滚动轴承产业技术创新战略联盟 河南洛阳 471039

摘要: 某型轴承外圈在盐淬多用炉淬火后, 发现多件轴承外圈有沿油孔纵向贯穿裂纹。通过热处理工艺追溯、宏观观察、化学成分分析、金相组织检验等方法, 判断轴承外圈的开裂属淬火裂纹, 是由于该外圈油孔直径较大、表面粗糙且不对称, 以及油孔应力集中造成的。

关键词: 四列圆柱滚子轴承; 油孔; 开裂; 改进措施

某厂家委托我公司热处理的轴承为四列圆柱滚子轴承, 此类轴承能同时承受较大径向和轴向双向载荷, 被广泛应用于重载工况场合。轴承外圈的外形尺寸为 $\phi 300\text{mm} \times \phi 278\text{mm} \times 96\text{mm}$, 所用材料为GCr15钢, 加工工序为: 锻造→退火→车加工→

钻孔→淬火→回火。在盐淬马氏体等温淬火、回火之后, 加工时发现多件外圈油孔处出现贯穿裂纹。该批次共800件左右, 经无损检测发现其中有裂纹的数量70件左右。为避免再次产生批次性产品报废, 对轴承外圈产生裂纹的原因进行分析。

4 结论与建议

针对服役过程中磁粉检测出缺陷的锻造杆件, 展开了宏观检测、成分分析、金相分析等方面的试验研究, 通过讨论与分析得出如下结论。

1) 由于裂纹附近存在严重的脱碳层, 折叠尾端圆秃, 且与金属流线方向一致, 裂纹内充斥非金属夹杂物, 具有典型的锻造折叠缺陷特征, 因此杠杆杆身的磁粉检测缺陷性质为锻造折叠。

2) 杠杆锻造折叠的形成可能是由于原材料表面氧化皮或非金属夹杂物在锻打时被压入钢体内, 导致氧化脱碳并诱发锻造折叠裂纹。

3) 定期清理锻造设备表面毛刺和氧化皮, 加强对杠杆表面夹杂物的检测, 以及锻造时合理控制拔长速度, 均为预防折叠缺陷的有效手段。

参考文献:

- [1] 于明翰. 45钢热处理与磨损研究分析[J]. 锋绘, 2019 (6): 125.
- [2] 赵琳. 45钢热处理工艺及其组织性能[J]. 机械工程与自动化, 2012 (5): 203-204.

- [3] 余向军. 碳素钢常见缺陷浅析[J]. 科技风, 2011 (9): 35.
- [4] 蔡云. 热处理工艺对45钢组织和性能的影响分析[J]. 现代制造技术与装备, 2016 (10): 125-126.
- [5] 马志伟, 孙贵平, 易华. 2012年微合金钢连铸裂纹控制技术研讨会论文集[C]. 中国金属学会连续铸钢分会, 2012.
- [6] 周千学, 黄海娥. 45钢电机部件开裂缺陷分析[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2012, 24 (1): 29-31.
- [7] 杨梅, 张春枝, 李志军. 45钢调质活塞杆裂纹分析[J]. 热加工工艺, 2013, 42 (1): 224-226.
- [8] 郭毅, 刘素芬, 张明, 等. 45钢支座裂纹分析[J]. 兵器材料科学与工程, 2013, 36 (2): 123-126.
- [9] 王仕勤, 梅建平, 刘哈婧. 柴油机主连杆断裂原因分析[J]. 热加工工艺, 2010, 39 (16): 174-176.
- [10] 张良, 董保胜, 杨来平, 等. 加热炉炉管爆裂原因分析[J]. 热加工工艺, 2011, 40 (17): 189-191.
- [11] 吴海平. 汽车用外圈破损失效分析[J]. 理化检验-物理分册, 2009, 45: 580-582.

MW 20210301

1 热处理工艺

该轴承外圈淬火、回火工艺路线：淬火→风冷→清洗→量形→整形→回火。具体工艺曲线如图1所示。盐淬后风冷至50℃以下进行清洗。此工艺已固化，该批次产品生产期间并无调整，操作人员严格执行，并且没有发现淬火、回火设备及工艺异常。每炉次装炉量80件左右，此批产品共计10炉次，量形过程中发现该批产品变形较大，变形量在0.6~1.0mm的产品占比45%，变形量在1.0~1.5mm的占比30%。整形方法为采用顶子进行校正，并回火稳定。

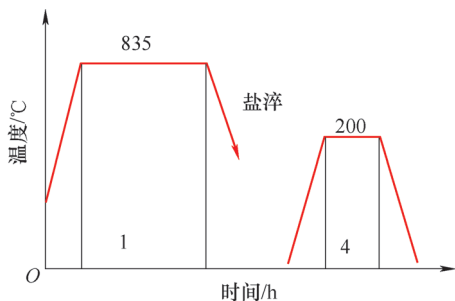


图1 轴承外圈热处理工艺曲线

2 理化检验

2.1 断口分析

轴承外圈裂纹宏观形貌如图2所示。将轴承外圈施加外力，套圈沿油孔发生开裂，观察套圈的断口

可以看出，断口为两种颜色，一次断口为深灰色，二次断口为浅灰色，裂纹起源于挡边内径与油孔的交角处，并向沟道面扩展，如图3所示。

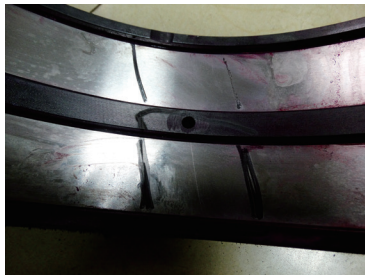


图2 外圈裂纹宏观形貌



图3 外圈裂纹断口形貌

2.2 化学成分分析

在轴承套圈裂纹处进行取样，将试样的切割面打磨平后，放置在SPECTOR M9型直读光谱仪上进行化学成分检验，结果见表1。由检测结果可知，轴承套圈材料为GCr15钢，符合GB/T 18254—2016《高碳铬轴承钢》规定要求。

表1 外圈材料化学成分检验结果（质量分数）（%）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
检测值	0.965	0.200	0.291	0.0127	0.0031	1.44	0.0433	0.0101	0.0971
标准值	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	≤0.025	≤0.025	1.40~1.65	≤0.30	≤0.10	≤0.25

2.3 硬度检测

采用HR-150A洛氏硬度计（载荷为1500N）测试轴承外圈端面的硬度，并按照JB/T 1255—2014

《滚动轴承高碳铬轴承零件热处理技术条件》评定，测试结果见表2，符合标准要求。

表2 外圈硬度测试结果（HRC）

项目	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	测点6	同一零件硬度差
外圈	60.9	60.9	60.6	60.8	61.0	60.6	0.4
标准要求	58~62						≤2

2.4 金相检查

观察发现：油孔内径面较为粗糙，油孔与挡边交角处较尖锐，周围未见明显夹杂物。将外圈裂纹

处切割磨制成的金相试样采用4%硝酸酒精溶液腐蚀后，放置在AXIO型显微镜下进行检验，具体结果见表3。

表3 外圈金相检验结果

零件名称	检 查 项 目												
	夹杂物/级								碳化物不均匀性/级			淬火、回火组织/级	
	A		B		C		D		带状碳化物	网状碳化物	液析	马氏体	屈氏体
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系					
外圈	1.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	<2.0	2	合格	3	1
													未发现

检验发现：①外圈内径及油孔处均有不同程度的增碳，油孔边增碳深度约为0.08mm。②挡边内径与油孔交角处增碳深度最大，为0.10mm，如图4所示。③依据JB/T 1255—2014评定，外圈的淬火、回火组织结果为：马氏体组织3级，屈氏体组织1级，网状碳化物2级，符合相关标准要求。参照GB/T 6394—2017《金属平均晶粒度测定方法》规定对其晶粒度进行金相检验，评定为8~9级，如图5所示。

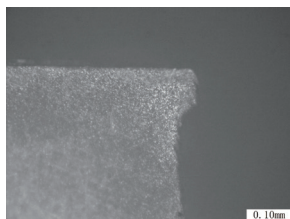


图4 内径挡边与油孔交角处增碳形貌

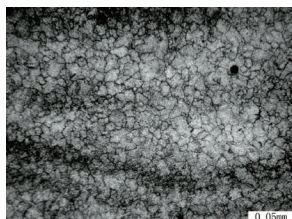


图5 外圈晶粒度

3 结果分析与讨论

淬火裂纹是零件淬火过程中由于所产生的内应力大于材料断裂强度而产生的脆性开裂，内应力包含组织转变应力和淬火冷却热应力，是造成淬火裂纹的本质因素^[1]。结合上述检验结果，作出以下分析。

1) 由以上的硬度、淬回火组织、晶粒度级别及其细瓷状断口可见，该套圈的热处理质量符合现行标准要求。

2) 该外圈经过管材车削和钻孔后，较深且尖锐的车刀纹极易产生应力集中，在淬火时产生淬火应力开裂，且主要产生于套圈油沟及油孔等位置^[2]。

3) 产品批量性的变形，且变形量较大，在整形过程中会增大应力集中。

4) 该产品在热处理过程中，由于可控气氛碳势偏高，因此导致挡边内径与油孔交角处发生增碳效应，在该处形成了较大的应力集中。因油孔直径加工量较大、周围存在不对称结构（见图6），所以致

使油孔周围的应力分布不均匀，在油孔较薄的位置增碳，脆性增大，当应力集中超过材料的强度时就产生了沿孔边开裂现象。此外，同炉次套装的其他没有油孔的产品，并没有发现此类现象，说明产生裂纹与工艺、设备无直接关系。

因此，油孔直径加工量较大、粗糙且不对称和油孔应力集中是导致该型轴承外圈产生裂纹的主要原因。

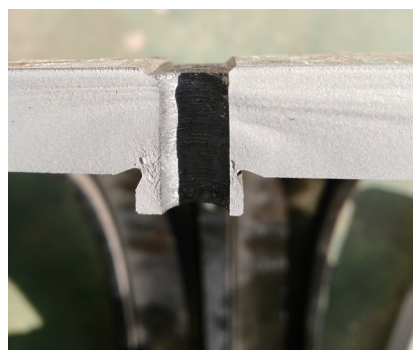


图6 油孔周围不对称形貌

4 结论及改进措施

1) 该型轴承外圈油孔直径较大、表面粗糙且不对称，以及油孔应力集中是导致其在热处理过程中产生裂纹的主要原因。

2) 该类型产品油孔一定要加工规范，并进行倒角处理。

3) 热处理过程中允许出现标准要求内的脱贫碳层，但尽量避免增碳现象的发生。

参考文献：

- [1] 程彬，马爽，刘传铭.滚动轴承零件常见的淬火裂纹分析与预防[J].金属加工（热加工），2019（5）：36-39.
- [2] 郭浩，雷建中，王玉良，等.轴承套圈的常见缺陷及预防措施[J].轴承，2019（1）：66-71.

MW 20210315